

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 5

Artikel: Unabhängige Kraftwerke als Ergänzung abhängiger Werke
[Fortsetzung]

Autor: Stephenson, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915922>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Meiner Ansicht nach sollte noch abschliessend die Warmwasseraufbereitung erwähnt werden, da ja diese mit der elektrischen Heizung sehr eng zusammenhängt. Im Rahmen dieser Ausführungen möchte ich dieses Problem allerdings nicht aufgreifen und überlasse gerne dieses Thema den Spezialisten. In dieser Beziehung müsste man jedoch die neuesten

technischen Fortschritte und Tarifbedingungen berücksichtigen, welche von verschiedenen Elektrizitätswerken dieser Kategorie von Verbrauchern eingeräumt werden.

Adresse des Autors:

H. Spicher, Ing., Chemin Bel Horizon, 1110 Morges.

Unabhängige Kraftwerke als Ergänzung abhängiger Werke

Ein Diskussionsbeitrag von H. Stephenson, Wien

Fortsetzung aus Nr. 4/69

3. Ermittlung des Energiebedarfes

3.1 Grundsätzliche Erwägungen

Erfolgt die Energieversorgung vorwiegend durch vom jeweiligen Wasserdargebot abhängige Laufwasserkraftwerke, so wird der bedarfsgerechte Kraftwerksausbau in hohem Masse von den Schwankungen des Wasserdargebotes beein-

flusst. Die genaue Kenntnis des Ablaufes der Wasserführung und eine möglichst exakte Schätzung der Bedarfsentwicklung sind erforderlich, um zu entscheiden, welche Kraftwerkstypen als wirtschaftlich optimale Ergänzung zu den Laufwasserkraftwerken gebaut werden sollen.

Die «Hydraulizität» [4], ein relativer Begriff, der sich für ein bestimmtes Gebiet aus der Relation des jeweiligen zum mittleren Erzeugungsvermögen über eine möglichst lange Beobachtungsreihe ergibt, oder Aufzeichnungen über die mittleren Wasserdargebote innerhalb bestimmter Zeiträume genügen nicht für die Planung des künftigen Kraftwerksausbaues.

Für die Ermittlung der Fehl- und Überschussenergien sind nicht die Dauerlinien für die Maxima, Minima oder Mittelwerte der Wasserdargebote, sondern die Dauerlinie (de), wie sie für den dritten Monat in Fig. 6 eingezeichnet ist, die das grösste Maximum, das kleinste Minimum und das mittlere arbeitsmässige Dargebot innerhalb einer grösseren Zeitspanne darstellt, massgebend.

Nachstehend werden zwei Verfahren beschrieben, die die Analyse des Energiebedarfes vornehmen und in einfacher Weise und mit ausreichender Genauigkeit die

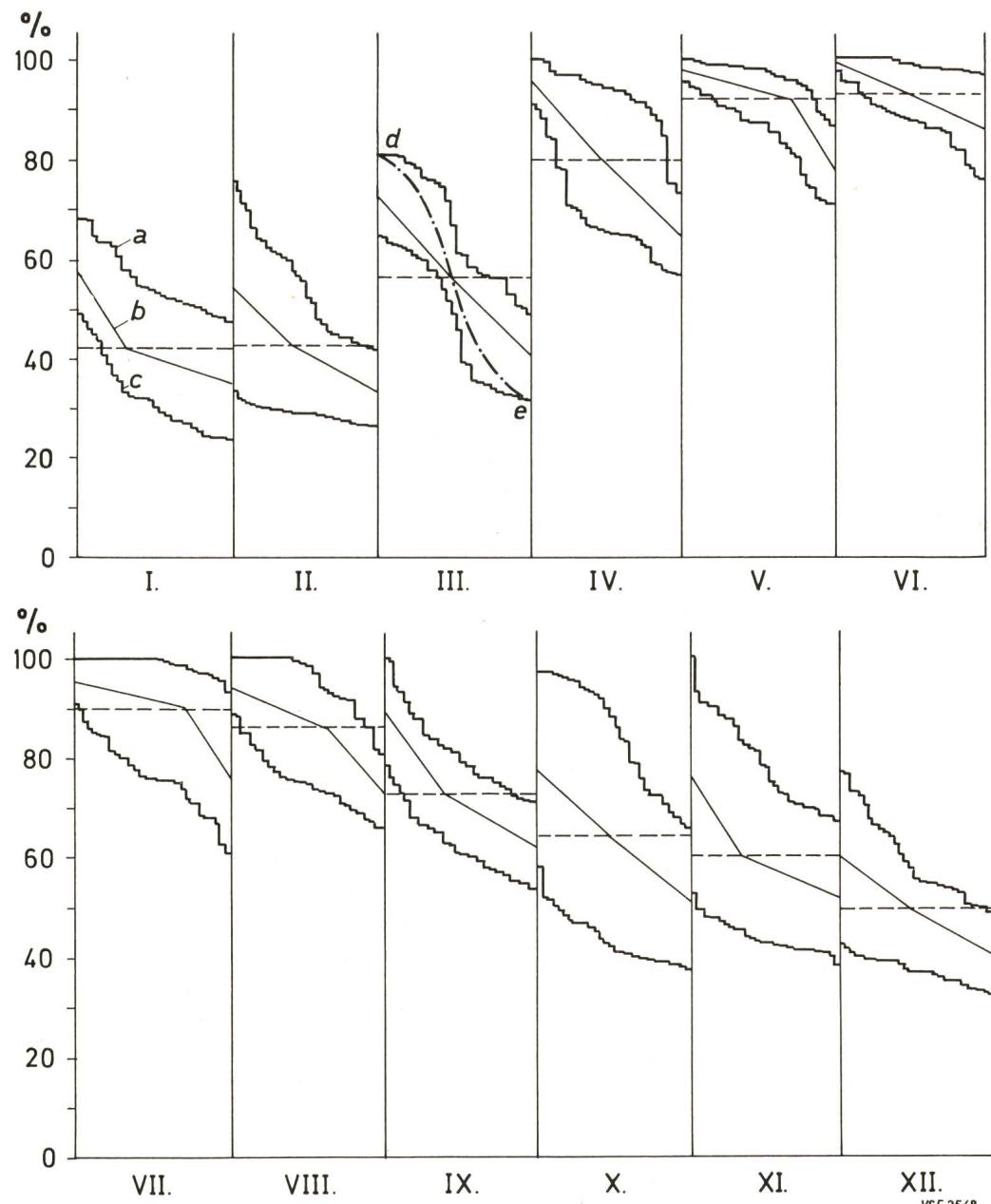


Fig. 6
Geordnetes Laufwasserdargebot
(Monatsdauerlinien in % vom
Vollwasser)

- a) max. Dargebot
- b) mittl. Dargebot
- c) min. Dargebot
- · — Monatsdurchschnitt
(Regeljahr)
- · · — (de) arbeitsmässiger
Monatsdurchschnitt
mit extremen Maxima
und Minima

VSE 2548

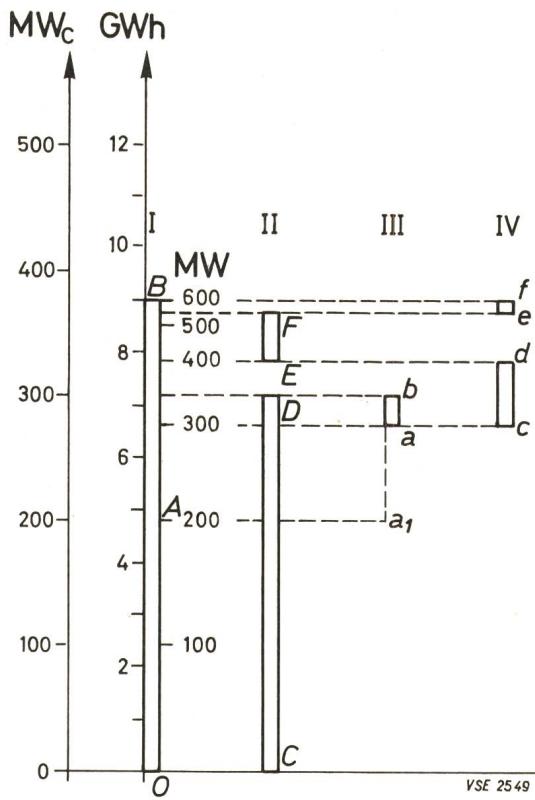


Fig. 7

Ermittlung des Fehlbedarfs bzw. Überschussenergien für einen bestimmten Tag

I Bedarf; II Dargebot; CD Laufenergie; EF Kurzzeitspeicher und Schwellenergie; III Überschuss; IV Fehlenergie

Fehlenergien und Überschussenergien, und zwar arbeitsmäßig und leistungsmäßig, innerhalb jeden Monates feststellen lassen. Der künftige Energiebedarf wird nach gleichartigen Tagesbelastungen ermittelt, und zwar für Wochentage von Montag bis Freitag, für Samstage und für Sonn- und Feiertage. Diagramme dieser drei Gruppen entsprechen dem mittleren Tagesbedarf mit der grössten Spitzenleistung und der kleinsten tageskonstanten Grundlast, die dem geordneten Wasserdargebot (Dauerlinie) für den betreffenden Monat gegenübergestellt wird.

3.2 Graphische Verfahren

3.2.1 Bedarfsanalyse mit Hilfe der Leistungsschichtlinien

Wie aus Fig. 7 zu ersehen, wurde folgendes angenommen:

1. OB:

Tagesbedarf (9 GWh / 600 MW) mit einer tageskonstanten Leistung (OA) von 200 MW.

2. CD:

Laufwasserdargebot [7,2 GWh / 300 MW (Skala MW_c)].

EF:

Dargebot aus Kurzzeitspeicherwerk und aus Schwellwerken (1 GWh / 150 MW).

Diese Energie wird in den Maßstab OB eingebaut, dass der Arbeit in der Höhe von 1 GWh eine Leistung von 150 MW am Leistungsmaßstab gegenübersteht. (Im vorliegenden Falle konnte diese Arbeit zwischen den Leistungen 400 und 550 MW untergebracht werden.)

3. Überschuss (ab):

Aus dem Bedarfsmaßstab I ist zu ersehen, dass der Leistung 300 MW nur eine Arbeit von 6,65 GWh gegenübersteht. Somit ergibt sich ein Überschuss von (7,2 minus 6,65) = 0,55 GWh mit einer Leistung von (300 minus 200) = 100 MW (aa₁).

4. Fehlbedarf:

(cd) zwischen den Leistungen 300 und 400 MW, d.h. 100 MW mit einer Arbeit von etwa 1,1 GWh und (ef) zwischen den Leistungen 550 und 600 MW, d.h. 50 MW mit einer Arbeit von etwa 0,25 GWh.

Die Durchführung einer derartigen Bedarfsanalyse wird anhand eines Beispieles für die Wochentage von Montag bis Freitag und für die Sonn- und Feiertage eines Monats erläutert (Fig. 8) [5].

Gegeben sind:

1. die durchschnittliche Tagesbelastung (On) für 20 Wochentage von Montag bis Freitag mit je 14 GWh / 800 MW und einer Mindestleistung (N_c) von 350 MW und (Figur rechts) für 5 Sonn- und Feiertage mit je 10 GWh / 650 MW und einer Mindestleistung (N_c) von 300 MW;

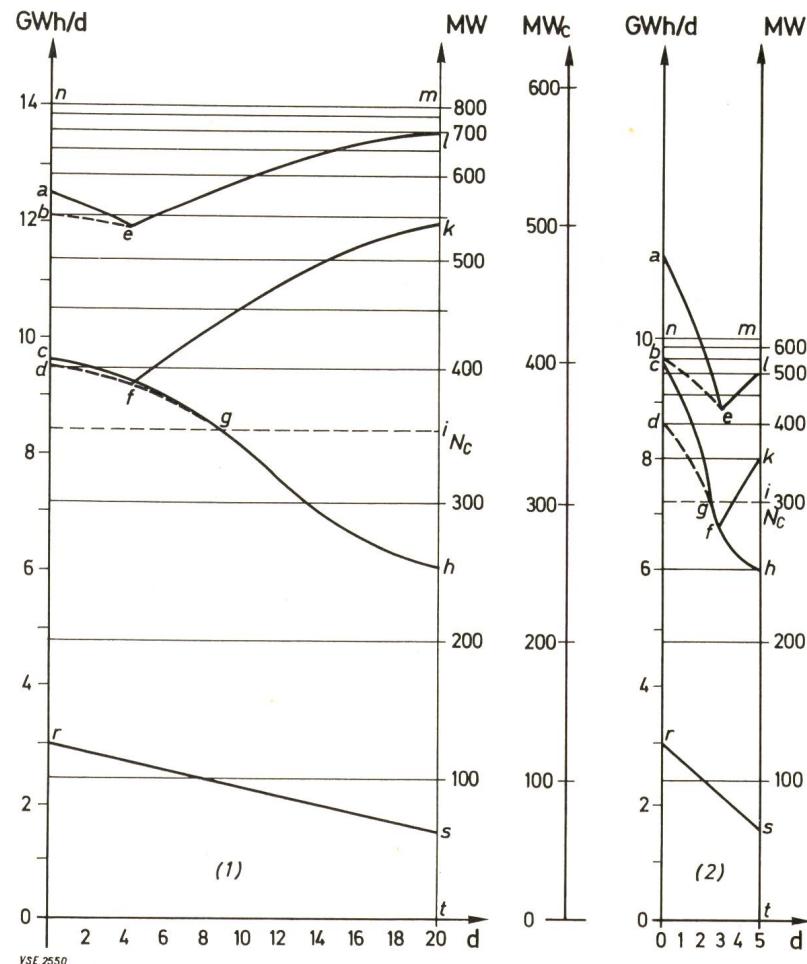


Fig. 8

Graphische Ermittlung der Fehl- und Überschussenergien mit Hilfe der Leistungsschichtenlinien

(1) 20 Arbeitstage von Montag bis Freitag je Monat; (2) 5 Sonn- und Feiertage je Monat

2. das geordnete Laufwasserdargebot (ch) mit Schwankungen zwischen 250 und 400 MW (Skala MW_c);

3. Kurzzeitspeicherkraftwerke mit einem täglichen Arbeitsvermögen, schwankend zwischen 1,5 und 3 GWh (rs) und einer Leistung von 150 MW.

Daraus ergeben sich:

α) für die Wochentage: Überschuss an Laufwasserenergie: mit einer Arbeit gegeben durch die Fläche (cdgc) mit einer Leistung von 400 MW (Laufwasser) minus 350 MW (tageskonstanter Bedarf N_c) = 50 MW.

Überschuss der Kurzzeitspeicherkraftwerke: mit einer Arbeit gegeben durch die Fläche (abea) und ihrer Nennleistung von 150 MW. [An der Ordinatenachse wird das Arbeitsvermögen der Kurzzeitspeicherkraftwerke (Or) dem verwertbaren Laufwasserdargebot (Od) überlagert (ad = Or).] Da nur eine Leistung von 150 MW (db) zur Verfügung steht, verbleibt an diesem Tage ein Überschuss von (ab). In der Folge wird die Speicherenergie in die restliche Bedarfsfläche (ndhm) derart eingebaut, dass die jeweiligen Energiemengen zwischen den Werten (Or) und (ts) mit der installierten Leistung der Speicherkraftwerke in der Höhe von 150 MW den Arbeitswerten des Belastungsdiagramms entsprechen. Die verwertbare Energie aus den Kurzzeitspeicherkraftwerken ergibt sich somit aus der Fläche (dfklebd).

β) für die Sonn- und Feiertage wird in gleicher Weise verfahren. Der Überschuss aus den Laufwasserkraftwerken ergibt sich durch die Fläche (cdgc) mit einer Leistung von (400 minus 300) = 100 MW. Der Überschuss aus den Kurzzeitspeicherkraftwerken wird durch die Fläche (abea) dargestellt.

Der Fehlbedarf, der durch Einsatz von unabhängigen Kraftwerken zu decken ist, ergibt sich somit aus den Flächen (fhkf) und (nbelmn).

3.2.2 Bedarfsanalyse mit Hilfe der Energieinhaltslinien

Diese Analyse wird für die Wochentage von Montag bis Freitag anhand der Energieinhaltslinie (Fig. 5), die einen durchschnittlichen Tagesbedarf für einen bestimmten Monat darstellt, besprochen [6]. Dieser Bedarf und das voraussichtliche Laufwasserdargebot sind aus Fig. 9 zu erkennen.

Gegeben sind:

1. die Energieinhaltslinie der durchschnittlichen Tagesbelastung (OS);
2. der tageskonstante Bedarf (OB);
3. das geordnete Wasserdargebot für M Tage (ad) mit Schwankungen zwischen (Oa) und (Md). Die Summe der Wasserdargebote im Zeitabschnitt (OM) ist durch die Fläche (OadMO) gegeben.

Daraus ist zu ersehen: das verwertbare Laufwasserdargebot ist gegeben durch die Linie abc'd', da das tageskonstante Laufwasser nur bis zum Dargebot b, das dem tageskonstanten Bedarf entspricht, voll verwertet werden kann.

Beträgt das Laufwasserdargebot z. B. (c), dann kann es mit seiner Leistung (OC₂) nur bis zum Punkte C der Energieinhaltslinie verwertet werden, so dass sich ein Überschuss ergibt, der mengenmäßig durch (C₁C) und leistungsmäßig durch (B₂C₂) gegeben ist. Diese Überschussmenge vom Wasserdargebot c abgesetzt, ergibt daher das verwertbare Dargebot c''. Wird für alle Wasserdargebote von b bis d dasselbe Verfahren angewendet, ergibt sich für den Zeitabschnitt (OM) ein Überschuss, dargestellt durch die Fläche (bc''d''dcb).

Nach Abzug der verwertbaren Laufwasserenergie vom Bedarf ergibt sich somit ein Fehlbedarf, der arbeitsmäßig durch die Fläche (aS'S''d''a) und leistungsmäßig durch (A₂S₂) gegeben ist.

Stehen zur teilweisen Deckung dieses Fehlbedarfes auch Energien aus Kurzzeitspeicherkraftwerken zur Verfügung (Fig. 10), dann kann sie wie folgt eingesetzt werden:

Gegeben sei für diese Kraftwerkstypen die Arbeit (OK) mit einer Leistung (ON).

Die Koordinaten für die Energie aus den Kurzzeitspeicherkraftwerken (OK) und (ON) werden in das Diagramm derart eingebaut, dass die Punkte N und K gleichzeitig an der Energieinhaltslinie zu liegen kommen. (KN) ist gleich (a₁a₂).

Somit ergibt sich noch ein restlicher Energiebedarf, und zwar die Arbeit (Ca) mit einer Leistung (aa₁) und die Arbeit (a₂a₂) mit einer Leistung (I₂S), die durch unabhängige Kraftwerke gedeckt werden muss.

Eine Analyse des Energiebedarfes nach dem vorbeschriebenen Verfahren ermöglicht, wie aus Fig. 5 zu ersehen ist, auch die Unterteilung des Bedarfes nach «täglichen Ausnützungsstunden».

4. Spezifische Merkmale der Kraftwerkstypen

4.1 Grundsätzliche Erwägungen

Die Aspekte, unter denen eine Klassifizierung der Kraftwerkstypen durchgeführt wird, beschränken sich lediglich auf die wirtschaftliche und bedarfsgerechte Erzeugung elektrischer Energie, und zwar:

1. «unabhängige Kraftwerke», die jederzeit bedarfsgerecht eingesetzt werden können; «abhängige Kraftwerke», die z. B. nur in Abhängigkeit vom Anfall der Rohenergie eingesetzt

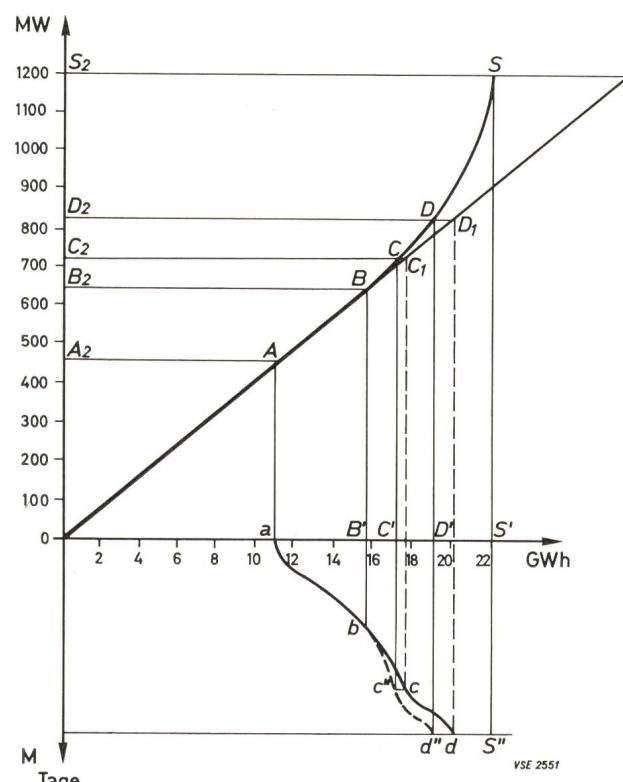


Fig. 9
Graphische Ermittlung der Fehl- und Überschussenergien mit Hilfe der Energieinhaltslinie

In Zusammenarbeit mit den abhängigen Laufwasserkraftwerken können kalorische Kraftwerke nicht nur die kurzfristigen Schwankungen der Wasserdarbietungen, sondern auch die «nassen» und «trockenen» Jahre ausgleichen.

4.3.2 Kernkraftwerke

Diese sind im allgemeinen den «unabhängigen» Kraftwerken zuzuordnen; nicht bedingungslos, da noch keine ausreichenden Erfahrungen, insbesondere mit der Betriebssicherheit, gewonnen werden konnten. Die Technik der Kernkraftwerke verzeichnet in den letzten Jahren Fortschritte, so dass sich unter bestimmten Voraussetzungen wirtschaftliche Vorteile gegenüber den herkömmlichen kalorischen Kraftwerken erwarten lassen.

Für ein verhältnismässig kleines Versorgungsgebiet kann der Ausfall eines so grossen Blockes zum Netzzusammenbruch führen, da hier die erforderlichen Reserveleistungen nicht zur Verfügung stehen.

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass ein Vergleich der Kosten je kW oder je kWh allein noch keine Schlüsse auf die Wirtschaftlichkeit eines Kraftwerkes zulassen [12], da die bedarfsgerechte Ausnutzung der Leistungen für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Kraftwerksbetriebes entscheidend ist.

4.4 Abschliessende Bemerkungen

Wie in Kapitel 2.3 erläutert, setzen sich die Kosten der kWh aus dem Arbeitspreis je kWh (p_A) und dem Anteil an den festen Kosten je kWh (p_F) zusammen. Es werden somit Vergleiche der Arbeitskosten oder der festen Kostenanteile je kWh der Kraftwerkstypen nie ein richtiges Bild ergeben, solange die jährlichen Ausnützungsstunden der Leistungen unberücksichtigt bleiben.

Für die Wahl der Kraftwerkstypen sollten in erster Linie volkswirtschaftliche Überlegungen massgebend sein, da es sonst möglich wäre, volkswirtschaftlich begründete Kraftwerksbauten durch betriebsfremde Einflüsse zu verhindern.

5. Zusammenarbeit abhängiger Kraftwerke mit unabhängigen Ergänzungskraftwerken

5.1 Grundsätzliche Überlegungen

Für wirtschaftliche Untersuchungen ist das abhängige Kraftwerk mit seinem Ergänzungskraftwerk zur Erzeugung von Grundlast- oder Spitzenenergie als «Einheit» zu betrachten, die jederzeit bedarfsgerecht eingesetzt werden kann [5].

Nachstehend werden die verwendeten Kurzbezeichnungen und Indizes angeführt:

N	Nennleistung
A	Jahresarbeit bzw. Index die Arbeitskosten oder Arbeitspreise betreffend
K	Jahreskosten
t	Jahresstunden
h	Index hydraulischer Kraftwerke betreffend
k	Index kalorische Kraftwerke betreffend
F	Index feste Kosten oder feste Preise betreffend
p	Preis je kWh
a	abhängig
u	unabhängig
W	Jahreswert der elektrischen Energie
w	Jahreswert der elektrischen Energie bezogen auf die kWh
c	Index Konstantenergie betreffend
i	Index Inkonstantenergie betreffend
ι	Jahreswertigkeit bzw. bezogen auf das Jahr
α	Ausnützungsstunden (Ausnutzung) bezogen auf die Nennleistung
Σ	Summe

5.2 Abhängige Kraftwerke in Zusammenarbeit mit unabhängigen Ergänzungskraftwerken zur Erzeugung tageskonstanter Energie

$$A_a + A_u = A_{\Sigma}; \quad A_{ac} + A_{ai} = A_{a\Sigma}$$

$$K_A + K_F = K_{\Sigma}; \quad p_A + p_F = p_{\Sigma}$$

$$\alpha_{ta} \cdot t = t_{ta}$$

d.h. die jährlichen Ausnützungsstunden des abhängigen Kraftwerkes

$$\alpha_{tu} \cdot t = t_{tu}$$

d.h. die jährlichen Ausnützungsstunden des unabhängigen Kraftwerkes

$$\alpha_{ta} + \alpha_{tu} = 1 \quad t_{ta} + t_{tu} = t$$

$$p_{Fu} = \frac{p_{Fut}}{\alpha_u},$$

p_{Fut} ist der Preis je kWh bezogen auf die festen Jahreskosten für die erzeugbare Jahresenergie; in diesem Falle demnach bezogen auf die jahreskonstante Energie, und

p_{Fu} ist der Anteil an den festen Kosten entsprechend den jährlichen Ausnützungsstunden (t_{tu});

$$K_{Au} + K_{Fu} = K_{\Sigma u}; \quad K_{Au} = A_u \cdot p_{Au}$$

$$K_{Fu} = A_u \cdot p_{Fu} = A_u \cdot \frac{p_{Fut}}{\alpha_u}$$

$$K_{\Sigma u} = A_u \cdot p_{\Sigma u}; \quad W_a =: A_a \cdot w_a$$

Daraus ergibt sich:

$$A_u \cdot p_{\Sigma u} = A_u \cdot p_{Au} + A_u \cdot \frac{p_{Fut}}{\alpha_u} \text{ bzw. } p_{\Sigma u} = p_{Au} + \frac{p_{Fut}}{\alpha_u}$$

Für $\alpha_u = 1$, also für die jahreskonstante Energie, ist $p_{\Sigma u} = p_{Au} + p_{Fu}$ und wird in der Folge mit $p_{\Sigma u}$ bezeichnet.

$\varrho_u = \frac{p_{Au}}{p_{Fut}}$ ist die Relation des Arbeitspreises zum festen Preis, bezogen auf die festen Kosten der jahreskonstanten Energie des unabhängigen Kraftwerkes.

Die Jahreswertigkeit (ι_{tu}) der elektrischen Energie aus unabhängigen Kraftwerken ergibt sich aus Formel (5) wie folgt:

$$\iota_{tu} = \frac{1}{\varrho_u + 1} \cdot \left(\varrho_u + \frac{t}{t_{tu}} \right)$$

Aus $\frac{t}{t_{tu}} = \frac{1}{\alpha_{tu}}$ folgt, dass bei gegebenen Preisen des unabhängigen Ergänzungskraftwerkes, also bei einem bestimmten Faktor ϱ_u , die Jahreswertigkeit der elektrischen Energie der unabhängigen Kraftwerke nur vom Ausnützungsfaktor α_u abhängt.

Die Wertigkeit der Energie aus dem abhängigen Laufwasserkraftwerk (ι_a) ergibt sich aus der Formel (ÖZE 16(1963)7, S. 397 wie folgt:

$$\iota_a = \frac{\varrho_u}{\varrho_u + 1} \text{ bzw. für } \varrho_u = \frac{p_{Au}}{p_{Fu}} \text{ gesetzt, aus} \quad (6)$$

$$\iota_a = \frac{p_{Au}}{p_{\Sigma u}}$$

Der Wert je kWh (w_a) der Energie aus dem abhängigen Laufwasserkraftwerk entspricht demnach — unabhängig von den Ausnützungsstunden jedes der beiden Kraftwerke — dem Arbeitspreis (p_{Au}) für das unabhängige Ergänzungskraftwerk.

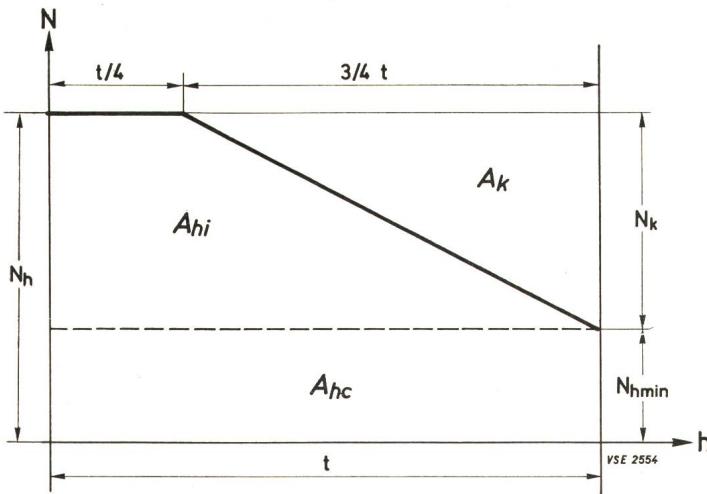


Fig. 12

Graphische Darstellung der Laufwasserenergie und der Energie aus einem kalorischen Ergänzungskraftwerk zur Erzeugung tageskonstanter Energie
 N_h Nennleistung des Laufwasserkraftwerk; N_k Nennleistung des kalorischen Ergänzungskraftwerk; A_k Jahresarbeit des kalorischen Kraftwerk; A_{hi} inkonstante Jahresenergie des Laufwasserkraftwerk; A_{hc} jahreskonstante Energie des Laufwasserkraftwerk; t Jahresstunden

Wird die jahresdurchgängige Leistung für das Laufwasserkraftwerk mit 1/3 ihrer Nennleistung angenommen, dann ergibt sich der Wert je kWh für die jahreskonstante Energie des Laufwasserkraftwerk wie folgt:

$$K_{hc} = K_{\Sigma h} - K_{hi} = A_{\Sigma h} \cdot p_{\Sigma h} - A_{hi} \cdot w_{hi},$$

wobei $K_{hc} = A_{hc} \cdot p_{hc}$ ist.

$$\text{Für } A_{hc} = \frac{1}{3} \cdot N \cdot t, A_{\Sigma h} = \frac{3}{4} \cdot N \cdot t \text{ und } A_{hi} = \frac{5}{12} \cdot N \cdot t$$

gesetzt, ergibt:

$$\frac{1}{3} \cdot N \cdot t \cdot p_{hc} = \frac{3}{4} \cdot N \cdot t \cdot p_{\Sigma h} - \frac{5}{12} \cdot N \cdot t \cdot w_{hi};$$

für $p_{hi} = 2 \text{ Rp./kWh}$:

$$\frac{1}{3} \cdot p_{hc} = \frac{3}{4} \cdot p_{\Sigma h} - \frac{5}{12} \cdot 2 \text{ bzw. } 4 \cdot p_{hc} = 9 \cdot p_{\Sigma h} - 10$$

Für $p_{\Sigma h}$ (Preis je kWh des Laufwasserkraftwerk) angenommen zu 2,8 Rp./kWh, ergibt sich für die jahreskonstante Energie des Laufwasserkraftwerk der kWh-Preis

$$p_{hc} = \frac{9 \cdot 2,8 - 10}{4} = \frac{15}{4} = 3,8 \text{ Rp./kWh.}$$

5.3 Abhängige Kraftwerke in Zusammenarbeit mit unabhängigen Ergänzungskraftwerken zur Erzeugung tagesinkonstanter Energie

Fig. 13 stellt die Jahresdauerlinie eines abhängigen Laufwasserkraftwerk dar. Ihr lässt sich entnehmen:

$$A_1 + A_2 = A_{\Sigma}; \quad N_e + N_i = N_{\Sigma}; \quad t_{A1c} + t_{A2c} = t$$

Die Ausnützung:

$$\alpha_{A1c} = \frac{t_{A1c}}{t} \text{ und } \alpha_{A2c} = \frac{t_{A2c}}{t}$$

$$\alpha_{A1c} + \alpha_{A2c} = 1$$

Es wurde angenommen:

$$N_{\Sigma} = 50 \text{ MW}; \quad N_e = 16 \text{ MW}; \quad N_i = 34 \text{ MW}$$

$$t_{A1c} = \frac{t}{3}; \quad t_{A2c} = \frac{2}{3}t; \quad t_x = \frac{t}{4}$$

Daraus ergeben sich:

$$A_1 = 108,77 \text{ GWh} \quad t_{A1} = 2175,4 \text{ Std.}$$

$$A_2 = 217,54 \text{ GWh} \quad t_{A2} = 4350,8 \text{ Std.}$$

$$A_{\Sigma} = 326,31 \text{ GWh} \quad t_{\Sigma} = 6526,2 \text{ Std.}$$

$$t_x = 2190 \text{ Std.}$$

$$\alpha_{A1} = 0,2483 \quad \text{Annahme: } p_A = 0,5 \text{ Rp./kWh}$$

$$\alpha_{A2} = 0,4966 \quad p_{Ft} = 2,5 \text{ Rp./kWh}$$

$$\alpha_{\Sigma} = 0,745 \quad p_{\Sigma} = 3 \text{ Rp./kWh}$$

$$\text{daher: } \frac{p_A}{p_{Ft}} = 0,2$$

Mit Rücksicht auf den beabsichtigten Einsatz dieses abhängigen Laufwasserkraftwerk als unabhängiges Kraftwerk ergeben sich für die Energien A_1 , A_2 und A_{Σ} nach Formel (5)

$$\left[t = \frac{1}{\varrho + 1} \cdot \left(\varrho + \frac{t}{t_x} \right) \right] \text{ folgende Wertigkeiten:}$$

$$\text{Für } A_1: t_1 = 3,52 \text{ WE/AE}$$

$$A_2: t_2 = 1,845 \text{ WE/AE}$$

$$A: t_{\Sigma} = 1,285 \text{ WE/AE}$$

Die Produktionskosten (Produktionswerte) für A_1 , A_2 und A_{Σ} betragen:

$$W_1 = A_1 \cdot p_{\Sigma} = 108770 \cdot 30 = \text{Fr. } 3263100.-$$

$$W_2 = A_2 \cdot p_{\Sigma} = 217540 \cdot 30 = \text{Fr. } 6526200.-$$

$$W_{\Sigma} = A_{\Sigma} \cdot p_{\Sigma} = 326310 \cdot 30 = \text{Fr. } 9789300.-$$

Es sei ferner angenommen:

a) Arbeit A_1 bedarfsgerecht eingesetzt

Arbeit A_2 über ein Pumpspeicherkraftwerk veredelt

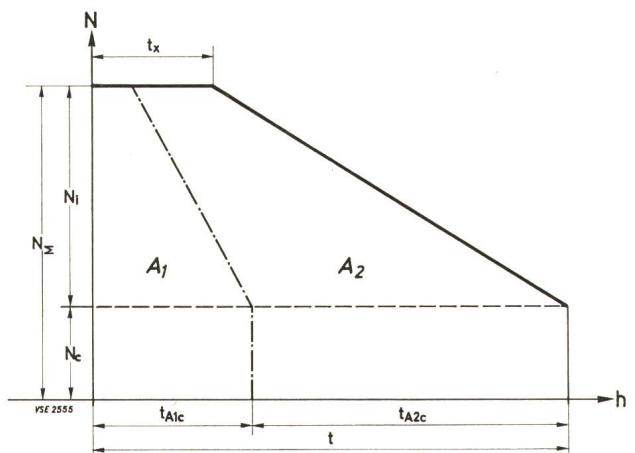


Fig. 13

Jahresdauerlinien für ein abhängiges Laufwasserkraftwerk

N_{Σ} installierte Nennleistung; N_e Nennleistung der jahreskonstanten Energie; N_i Nennleistung der jahresinkonstanten Energie; t Jahresstunden; t_{A1c} jährliche Ausnützungsstunden für den jahreskonstanten Teil der Energie (A_1); t_{A2c} jährliche Ausnützungsstunden für den jahreskonstanten Teil der Energie (A_2); t_x jährliche Betriebsstunden mit der vollen installierten Nennleistung (N_{Σ})

b) Arbeit A_1 über ein Pumpspeicherkraftwerk veredelt

Arbeit A_2 bedarfsgerecht eingesetzt

c) Arbeit A über ein Pumpspeicherkraftwerk veredelt

Für die über ein Pumpspeicherkraftwerk veredelten Energien a), b) und c) werden vergleichshalber einheitlich durchschnittlich 2920 jährliche Ausnützungsstunden angenommen. Das entspricht einer Wertigkeit von

$$t_{sp} = \frac{1}{\varrho + 1} \cdot \left(\varrho + \frac{8760}{2920} \right) = \frac{1}{0,2 + 1} \cdot (0,2 + 3) = \frac{8}{3} \text{ WE/AE}$$

Der Wirkungsgrad (η) der Pumpenaggregate wird mit 60% angenommen.

ad a)

Wert der Arbeit A_1 :

$$W_{Sp1} = A_1 \cdot p_{\Sigma} \cdot t_1 = 108770 \cdot 30 \cdot 3,52 = \\ \text{abzgl. Produktionswert } (W_{\Sigma}) \text{ für die Arbeit } A_2 \\ \text{ergibt somit für die Arbeit } A_2 \text{ einen wertmässigen Überschuss von}$$

und eine gespeicherte Arbeit

$$A_2 \cdot \eta_8 = A_{Sp2} = 130524 \text{ MWh}$$

$$W_{Sp2} = A_{Sp2} \cdot p_{\Sigma} \cdot t_{sp} = 130524 \cdot 30 \cdot \frac{8}{3} =$$

zuzüglich wertmässiger Überschuss von A_2
ergibt zulässige Jahreskosten von

Fr.
11 486 100.—
<u>9 789 300.—</u>
1 696 800.—
10 441 920.—
<u>1 696 800.—</u>
<u>12 138 720.—</u>

Die erforderliche Nennleistung beträgt

$$\frac{130524}{2920} = \text{zirka } 45 \text{ MW}$$

ad b)

Wert der Arbeit A_2 :

$$W_{Sp2} = A_2 \cdot p_{\Sigma} \cdot t_2 = 217540 \cdot 30 \cdot 1,845 = \\ \text{abzgl. Produktionswert } (W_{\Sigma}) \text{ für die Arbeit } A_1 \\ \text{ergibt somit für die Arbeit } A_1 \text{ einen wertmässigen Überschuss von}$$

und eine gespeicherte Arbeit

$$A_1 \cdot \eta = A_{Sp1} = 65262 \text{ MWh}$$

$$W_{Sp1} = A_{Sp1} \cdot p_{\Sigma} \cdot t_{sp} = 65262 \cdot 30 \cdot \frac{8}{3} =$$

zuzüglich wertmässiger Überschuss von A_1
ergibt zulässige Jahreskosten von

Fr.
12 040 839.—
<u>9 789 300.—</u>
2 251 539.—
5 220 960.—
<u>2 251 539.—</u>
<u>7 472 499.—</u>

Die erforderliche Nennleistung beträgt

$$\frac{65262}{2920} = \text{zirka } 22,5 \text{ MW}$$

ad c)

Für die Arbeit A_{Σ} ergibt sich
eine gespeicherte Arbeit von

$$A_{\Sigma} \cdot \eta = A_{Sp\Sigma} = 195786 \text{ MWh} \\ \text{bei einem Produktionswert von}$$

$$W_{Sp\Sigma} = A_{Sp\Sigma} \cdot p_{\Sigma} \cdot t_{sp} = 195786 \cdot 30 \cdot \frac{8}{3} =$$

ergibt zulässige Jahreskosten von

Fr.
9 789 300.—
<u>15 662 880.—</u>
<u>5 873 580.—</u>

Die erforderliche Leistung beträgt

$$\frac{195786}{2920} = 67 \text{ MW}$$

Unter den getroffenen Annahmen ergibt die Annahme a) — ein Drittel der jeweiligen tageskonstanten Energie wird bedarfsgerecht direkt eingesetzt und die restlichen zwei Drittel über ein Pumpspeicherkraftwerk gespeichert — das günstigste Resultat. Die derart errechneten wirtschaftlich vertretbaren Jahreskosten von Fr. 12138720.— sowie die Amortisation und die Höhe der Zinsen für das erforderliche Kapital bestimmen die Grenze der Baukosten für die Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerkes, gegebenenfalls in Zusammenarbeit mit einem Speicherkraftwerk.

Gleichartige Überlegungen können auch für thermische Kraftwerke und für Kernkraftwerke in Zusammenarbeit mit Pumpspeicherkraftwerken zur Erzeugung von Spitzenenergie angestellt werden.

5.4 Abschliessende Bemerkungen

Bei allen vorangeführten Überlegungen blieb die Betriebsicherheit der Kraftwerksanlagen ausgeklammert. Kraftwerksausfälle und unvorhergesehene Reparaturarbeiten müssen bei einer gesicherten Elektrizitätsversorgung zweifellos mit einer möglichst hohen Wahrscheinlichkeit durch eine entsprechende Leistungsreserve überbrückt werden können. Sie beeinflussen nicht die Wertigkeit der elektrischen Energie, sondern bestimmen lediglich die Wirtschaftlichkeit, also die Strompreise.

Leistungsreserven in unabhängigen hydraulischen Kraftwerken werden es ermöglichen, innerhalb kürzester Zeit einen Kraftwerksausfall zu kompensieren. Wenn es sich um den Ausfall eines Grundlastkraftwerkes handelt, kann in der Folge der Leistungsausfall durch die in Betrieb befindlichen Grundlastwerke oder gegebenenfalls durch Inbetriebnahme von Grundlastwerken ausgeglichen werden.

Die Höhe der Reserveleistung ist nicht nur eine Funktion der Zahl der Generatoren, sondern auch eine Funktion der Generatorleistungen. Die Errichtung grosser Kraftwerksblöcke in relativ kleinen Versorgungsgebieten, also auch der Bau von Kernkraftwerken, beeinflussen die erforderlichen Reserveleistungen nicht unweesentlich, ein Umstand, der bei Überprüfungen der Wirtschaftlichkeit von Kernkraftwerken nicht immer entsprechend berücksichtigt wird [12].

In diesem Zusammenhange wird auch auf Kapitel 4.2.1 hingewiesen, wonach Laufwasserkraftwerke mit Rücksicht auf die Schwankungen der Wasserdargebote selbst über Reserveleistungen verfügen. Auch die Zusammenarbeit von Laufwasserkraftwerken mit thermischen Ergänzungskraftwerken begünstigt die Reservehaltung.

Für die Festlegung der Typen (Grundlast- oder Spitzenkraftwerke) muss die voraussichtliche jährliche Ausnützung massgebend sein. Den volkswirtschaftlichen Aspekten gegenüber den finanziellen ist der Vorrang einzuräumen [13].

Die Wasserkraft wird laufend von der Natur erneuert. Dieser Tatsache kommt wesentliche Bedeutung zu. Die nationalen Wasserwirtschaftsverbände sollten sich berufen fühlen, dahingehend aufklärend zu wirken.

Das Streben nach optimaler Wirtschaftlichkeit begründet nicht ein bedingungsloses Zusammenlegen regionaler Versorgungsunternehmen in eine Gesellschaft, da ein Monopolbetrieb allein noch nicht den gesamtwirtschaftlichen Erfolg garantiert.

Wichtig erscheint, dass innerhalb einer geschlossenen Wirtschaft eine übergeordnete Lastverteilerstelle den Einsatz der Kraftwerke unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten steuern kann, so dass sich für alle daran beteiligten Versorgungsunternehmen Vorteile ergeben.

Daraus kann abgeleitet werden, dass die Verrechnung der elektrischen Energie nach Hoch- und Niedertarif praktisch nur für Lieferungen an den Letztverbraucher und für Exporte — soweit der betreffende Staat nicht am Bau eines Kraftwerkes beteiligt ist — ihre Begründung findet. Auch ein Energieaustausch zwischen zwei oder mehreren Partnern wird nur dann allen daran beteiligten Unternehmen Vorteile bringen, wenn er de facto wertgerecht durchgeführt wird.

Literatur

- [1] *H. Stephenson*: Ermittlung von Fehlbedarfs- und Überschussenergie. ÖZE 3. Jhg., Heft 6/1950, Seite 161...164.
- [2] *H. Stephenson*: Analyse des Energieverbrauches. ÖZE 8. Jhg., Heft 12/1955, Seite 452...457.

- [3] *H. Stephenson*: Wertigkeit elektrischer Energie. ÖZE 16. Jhg., Heft 7/1963, S. 389...402.
- [4] *L. Bauer und Partl*: Die «Hydraulizität» ein neuer Begriff zur Beurteilung des Wasserdargebotes. ÖZE 9. Jhg., Heft 1/1956, S. 14...18.
- [5] *F. Hintermayer und Melan*: Eignung thermischer Anlagen verschiedener Typen zur Ergänzung hydraulischer Erzeugung. ÖZE 7. Jhg., Heft 11/1954, Seite 409...415.
- [6] *H. Stephenson*: Bedarfsanalyse für die Ermittlung der geeigneten Ergänzungskraftwerke zu Laufkraftwerken. ÖZE 13. Jhg., Heft 5/1960, Seite 215...223.
- [7] Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband 1949: Beurteilung der relativen Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftvorprojekten.
- [8] *A. Kroms*: Das Zusammenwirken der Kraftwerke. Die Technik 8. Jhg., Heft 6/1953, Seite 395...406.
- [9] *A. Kroms*: Struktur der Verbundsysteme. Die Technik 8. Jhg., Heft 11/1953, Seite 725...733.
- [10] *A. Kroms*: Kennwerte der Wärmeerzeugung. Die Technik 10. Jhg., Heft 11/1955, Seite 649...658.
- [11] *A. Kroms*: Kennwerte des industriellen Energieverbrauches. Energie 7. Jhg., Heft 11 vom 15. 11. 1955, Seite 399...408.
- [12] *P. V. Gilli*: Wirtschaftlichkeit des Kernkraftwerkes im Wasserkraftland. E. u. M. 84. Jhg., Heft 6.
- [13] *H. Stephenson*: Entwicklung der Wirtschaft, Verlag Duncker & Humblot, Berlin. Volkswirtschaftliche Schriften 114, 1967, S. 30.

Adresse des Autors:

Hans Stephenson, Ing., HbV und Chef des Hauptlastverteilers der Verbundgesellschaft i. R., Neulerchenfeldstrasse 27/19, 1160 Wien.

Aus dem Kraftwerkbau

Das Verhalten unserer Gewässer im Jahre 1969

Wie sich aus den Beobachtungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft betreffend den Abfluss der Oberflächengewässer ergibt, war im gesamten gesehen das Jahr 1969 ein trockenes Jahr. Es bildet somit den Abschluss einer Periode von vier nassen Jahren. Trotzdem war die im Jahr 1969 registrierte Trockenheit keine Ausnahme im Vergleich mit dem Durchschnitt der letzten Jahrzehnte. In der Tat kann einer vom genannten Amt durchgeföhrten Studie entnommen werden, dass auf die letzten 35 Jahre 19 nasse und 16 trockene Jahre entfallen und dass unter letzteren das Jahr 1969 nur den zehnten Rang einnimmt.

Das verflossene Jahr wurde besonders durch zwei Trockenperioden charakterisiert, die eine, im ersten Quartal auftretend, berührte das ganze Land mit Ausnahme der Einzugsgebiete der Rhone und des Tessins, die andere in das letzte Quartal fallende, umfasste hingegen alle schweizerischen Flussgebiete. Wenn auch die Niederwassermengen der zweiten Periode kleiner als diejenigen der ersten waren, so erreichten sie doch nicht ausserordent-

lich kleine Werte verglichen mit den kleinsten Abflussmengen, welche in der Zeit seit 1935 aufgetreten sind. So hat man während dieser Beobachtungsperiode bei den meisten Stationen des Landes in 5 Jahren, nämlich 1947, 1949, 1959, 1961 und 1962 einen mittleren Monatsabfluss im Oktober festgestellt, der unter demjenigen von 1969 liegt. Bei letzterem handelt es sich also um einen Wert, der durchschnittlich alle 7 Jahre einmal auftritt. Für den November wurde im Vergleich zu 1969 durchschnittlich alle 3-4 Jahre ein kleinerer mittlerer Monatsabfluss und für den Dezember alle 2-3 Jahre festgestellt.

Die im letzten Quartal des Jahres 1969 aufgetretene Trockenheit ist also mehr infolge ihrer Dauer als ihrer Intensität bemerkenswert. Diese Trockenheit hat sich übrigens im Monat Januar 1970 fortgesetzt und ist erst infolge der anfangs Februar 1970 erfolgten starken Niederschläge unterbrochen worden. Die Trockenheit des Wintersemesters 1969/70 reicht deshalb nicht an diejenige des Wintersemesters 1962/63 heran, welche sich über aufeinanderfolgende 5 Monate hinzog und die unter die ausgeprägteste des Jahrhunderts einzureihen ist.

Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement.

Verbandsmitteilungen

57. Kontrolleurprüfung

Vom 10. bis 12. Februar 1970 fand die 57. Prüfung von Kontrolleuren für elektrische Hausinstallationen statt. Von den insgesamt 12 Kandidaten haben 10 die Prüfung bestanden.

Es sind dies:

Ackermann Werner, Neukirch-Egnach
Galletti Rino, Nafels
Janssen Hans, Zell

Frei Ulrich, Buchs
Hügli Samuel, Ecublens
Meyer Heinz, Wettingen
Kaufmann Franz, Recherswil
Sprecher Johannes, Sils i. D.
Strüby Rudolf, Affoltern am Albis
Wittwer Hans, Luterbach

Zürich, den 17. Februar 1970.

Eidg. Starkstrominspektorat

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1;
Postadresse: Postfach 8023 Zürich; Telefon (051) 27 51 91; Postcheckkonto 80-4355; Telegrammadresse: Electrunion Zürich.

Redaktor: Dr. E. Bucher

Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.